

## اثر دانسیته و نسبت اختلاط خرده چوب صنعتی به سیمان بر خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه چوب سیمان

محمد غفرانی<sup>۱\*</sup> و انوشه فاضلی<sup>۲</sup>

\*- مسئول مکاتبات، استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده مهندسی مواد و فناوری‌های نوین، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران، ایران،  
پست الکترونیک: ghofrani@sru.ac.ir

۲ - دانشجوی دکترا، گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخ دریافت: مرداد ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۹

### چکیده

در این پژوهش اثر دانسیته اسمی در دو سطح ۸۰۰ و ۱۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و نسبت اختلاط خرده چوب صنعتی به سیمان در دو سطح ۲۵٪ به ۷۵٪ و ۳۵٪ به ۶۵٪ بر خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه چوب سیمان بررسی شد. پس از ساخت چندسازه ها، مقادیر دانسیته واقعی محاسبه شد. مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی تخته‌ها مطابق با استاندارد EN 310، چسبندگی داخلی مطابق با استاندارد EN 319، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری برابر استاندارد EN 317 و مقاومت به آتش طبق استاندارد ISO 11925 اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد با افزایش دانسیته، خواص خمشی شامل مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی و همچنین مقاومت چسبندگی داخلی نمونه‌ها در اثر افزایش فشردگی و سطح تماس کافی بین الیاف و ماتریس سیمان بهبود یافت. به طوری که با افزایش نسبت سیمان، مدول الاستیسیته نمونه‌ها افزایش معنی داری یافت. مدول گسیختگی به طور معکوس با افزایش نسبت سیمان تغییر کرد. افزایش نسبت اختلاط چوب به سیمان، منجر به پوشش ناکافی ذرات چوب توسط سیمان و کاهش مقاومت در برابر نیروهای کششی اعمال شده در آزمون چسبندگی داخلی شد. به نحوی که با افزایش دانسیته، ثبات ابعاد نمونه‌ها افزایش یافت. تغییر در نسبت اختلاط چوب به سیمان، اثر معنی داری بر ثبات ابعاد نمونه‌ها داشت؛ به طوری که افزایش نسبت اختلاط چوب به سیمان، موجب افزایش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نمونه‌ها شد. مقاومت به آتش نمونه‌ها با افزایش دانسیته و افزایش نسبت سیمان افزایش یافت. ویژگی‌های مکانیکی چندسازه‌های چوب سیمان ساخته شده در این پژوهش، با مقادیر قید شده در استاندارد EN 634-2 مطابقت داشت.

واژه‌های کلیدی: چندسازه چوب سیمان، خواص خمشی، چسبندگی داخلی، ثبات ابعاد.

### مقدمه

اشکال و قالب‌های مختلف و در مقیاس زیاد تولید می‌شود. صفحات فشرده چوب سیمان امتیازات زیادی دارد که آنها را با سایر صفحات فشرده رقابت پذیر می‌کند. این محصولات ثبات ابعاد بالایی داشته و در برابر آتش و تخریب زیستی مقاومت می‌کند. امتیاز بزرگ این فرآورده‌ها، عدم استفاده از آزیست و هرگونه مواد سمی و فرار هنگام ساخت است.

امروزه مطالعات در زمینه چندسازه‌های چوب سیمان یا به عبارت دیگر چندسازه‌های حاصل از اختلاط مواد لیگنوسلولزی و سیمان، بسیار گسترده شده و این چندسازه‌ها در بسیاری از کشورهای دنیا به شکل صفحات فشرده، کاربرد صنعتی دارد. صفحات فشرده با اتصالات سیمانی در

چندسازه‌های چوب سیمان اگرچه از چندسازه‌های با اتصالات رزینی سنگین‌ترند، اما نسبت به بتن سبک‌تر بوده، بنابراین در ساخت‌وساز به‌ویژه سازه‌های پیش‌ساخته و در اعضای مانند دیوارهای غیر باربر به‌کار می‌روند (Ramirez-Coretti *et al.*, 1998; Ajayi & Badejo, 2005). چوب سیمان، امتیازات مواد غیرآلی و آلی را همزمان دارد. مشکل اصلی که بر تولید انبوه آن اثر می‌گذارد، اثر بازدارنده چوب‌برگیری سیمان و جرم ویژه بالای محصول است (Menezzi *et al.*, 2007). از این رو به‌منظور افزایش سازگاری دو ماده آلی و معدنی، شتاب‌دهنده‌هایی مانند کلسیم کلرید، منیزیم کلرید، سولفات آلومینیم، کلرید آلومینیم، سیلیکات سدیم و غیره در ساخت آنها به‌کار می‌رود (Silva *et al.*, 2005). با اضافه کردن مواد لیگنوسولوزی به خمیر سیمان، واکنش هیدراتاسیون سیمان کاهش و زمان گیرایی آن افزایش می‌یابد. تسریع واکنش هیدراتاسیون سبب تولید حرارت بیشتر و کاهش زمان گیرایی آن می‌شود (Rangavar *et al.*, 2016). عناصر چوبی در اندازه و شکل‌های مختلف مانند خرده‌چوب، رشته چوب (اکسلسیور)، تراشه و فیبر برای ساخت پانل چوب سیمان به‌کار می‌روند (Frybort *et al.*, 2008). یکی از دلایلی که تولید این نوع چندسازه‌ها را در سال‌های اخیر با اهمیت کرده است، مسائل زیست‌محیطی می‌باشد؛ زیرا تولید چنین فرآورده‌هایی علاوه بر آنکه ارزش افزوده به ضایعات چوبی می‌دهد، از باقی ماندن آن در محیط جلوگیری می‌کند (Wolfe & Gjinolli, 1999). مشکلات زیست‌محیطی ناشی از دفع محصولات چوبی حفاظت شده، موجب بروز دل‌مشغولی‌های فزاینده شده است. دفع محصولات به‌صورت خاکچال کمتر مورد قبول است و باید راه‌های جایگزینی پیدا شود. یکی از رویکردهای ممکن برای استفاده دوباره از این ضایعات، استفاده از آن در ساخت صفحات فشرده چوب سیمان می‌باشد (Zhou & Kamdem, 2002). مواد لیگنوسولوزی از قبیل گرده‌بینه، الوار، ضایعات حاصل از چوب‌بری، لوله‌بری و روکش‌گیری به‌عنوان مواد اولیه به‌کار رفته‌اند (Badejo, 1988).

(Sandermann, 1970; Simatupang *et al.*, 1978). Ogunjobi و همکاران (۲۰۱۹) اقدام به ساخت تخته خرده سیمان با استفاده از خاک‌اره و سیمان پرتلند با نسبت‌های اختلاط ۳:۱، ۱:۱ و ۱:۳ کردند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که سیمان بیشتر در نسبت اختلاط خاک‌اره به سیمان ۱:۳ موجب پوشش حفره‌های خالی موجود در چوب شده و سبب جذب آب کمتر گردید. بیشترین جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در نسبت اختلاط خاک‌اره به سیمان ۳:۱ و کمترین جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در نسبت اختلاط خاک‌اره به سیمان ۱:۳-های مکانیکی نشان داد از آنجایی که خواص مکانیکی ناشی از گیرایی سیمان می‌باشد، بیشترین مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی در نسبت اختلاط خاک‌اره به سیمان ۱:۳ و کمترین مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی در نسبت اختلاط خاک‌اره به سیمان ۳:۱ بود. Castro و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی اثر اندازه ذرات چوب در سه سطح ذرات کوچک (۱/۴ تا ۲/۳۶ میلی‌متر)، متوسط (۲/۳۶ تا ۴ میلی‌متر) و ذرات درشت (۴ تا ۹/۵۲ میلی‌متر) و نسبت‌های اختلاط چوب به سیمان در سه سطح ۱:۲، ۱:۱ و ۱:۰،۵ پرداختند. نتایج مطالعات آنان حکایت از آن داشت که در فرآورده‌های ساخته شده با ذرات چوبی کوچک‌تر، مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی و چسبندگی داخلی بالاتری مشاهده شد. به‌طوری‌که با افزایش نسبت سیمان، مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی بالاتر و جذب آب کمتری مشاهده شد. ذرات کوچک‌تر، با داشتن سطح ویژه بالاتر، آب بیشتری جذب کردند. علاوه بر آن، ذرات کوچک‌تر واکنشیدگی ضخامت کمتری نسبت به ذرات درشت نشان دادند. Golbabaei و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی استفاده از سیمان و ذرات باگاس در چهار سطح ۹۰ به ۱۰، ۵۸ به ۱۵، ۸۰ به ۲۰ و ۷۵ به ۲۵ و کلسیم کلرید در دو سطح ۳ و ۵ درصد در ساخت کامپوزیت تقویت شده سیمان-الیاف چوب پرداختند. نتایج تحقیقات آنان نشان داد که بیشترین مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی در نسبت ۹۰ به ۱۰ و بیشترین واکنشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت در

مطالعات آنان نشان داد که با افزایش میزان الیاف، دانسیته تخته‌ها کاهش و جذب آب و مقاومت به ضربه افزایش یافت. Bajejo و Ajayi (۲۰۰۵) اثر دانسیته تخته تراشه سیمان با استفاده از تراشه‌های دو گونه مختلف پهن‌برگ را بر خواص خمشی و چسبندگی داخلی بررسی کردند. تخته‌ها با نسبت اختلاط ثابت سیمان به چوب ۲:۱ در سه دانسیته ۱۰۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ۱/۵٪ کلسیم کلرید و با تراشه‌هایی با طول ۵۰ میلی‌متر و ضخامت ۲/۵ میلی‌متر ساخته شد. نتایج نشان داد که مدول گسیختگی تخته‌ها بر خلاف چسبندگی داخلی، با دانسیته همبستگی مثبت نشان داد. مدول گسیختگی تخته‌ها، در گونه‌های چوبی و دانسیته‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری نشان داد؛ اما چسبندگی داخلی در دانسیته‌های مختلف تفاوت معنی‌داری نداشت. Golbabaei و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از کلسیم کلرید در دو سطح ۳ و ۷ درصد، فراورده مرکب چوب سیمان ساخته و به مطالعه خواص فیزیکی و مکانیکی آن پرداختند. نتایج حکایت از آن داشت که مقاومت خمشی و مقاومت به ضربه با افزایش میزان چوب تا ۴۰ درصد افزایش یافت؛ اما افزایش بعدی در نسبت چوب، موجب افت مقاومت‌ها گردید. همچنین افزایش میزان چوب اثر منفی بر چسبندگی داخلی داشت. Enayati و همکاران (۲۰۱۲) ویژگی‌های بلوک‌های چوب سیمان ساخته شده از خاک‌اره با نسبت خاک‌اره به سیمان ۲۸:۷۲، ۳۵:۶۵ و ۴۲:۵۸ و ماده افزودنی کلرید کلسیم و کلرید منیزیم در دو سطح ۳ و ۵ درصد را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که تفاوت در نسبت‌های مختلف خاک‌اره به سیمان باعث تفاوت در خواص فیزیکی و مکانیکی بلوک‌ها گردید. به طوری که با افزایش درصد خاک‌اره در ساختار بلوک‌های آزمونی، واکنشیدگی ضخامت به طور مشخص افزایش و در نسبت ۴۲ درصد مقدار این ویژگی به بیش از دو برابر مقدار آن در بلوک‌های حاوی ۲۸ درصد خاک‌اره رسید. با افزایش درصد خاک‌اره، مقاومت فشاری بلوک‌ها در اثر افزایش فشردگی افزایش یافت. Singh و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از الیاف نارگیل، صفحه فشرده سیمان-الیاف ساختند. نتایج

نسبت ۷۵ به ۲۵ مشاهده شد. Rangavar و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر نوع سیمان بر هیدراتاسیون سیمان و خواص چندسازه چوب سیمان ساخته شده از ساقه آفتابگردان با نسبت‌های اختلاط ۱۰۰:۰، ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ و ۱۰۰:۰ نسبت به خرده‌چوب صنوبر پرداختند. نتایج آنان نشان داد که مواد لیگنوسلولزی سبب کاهش واکنش هیدراتاسیون و افزایش زمان گیرایی سیمان شد. ساقه آفتابگردان در مقایسه با خرده‌چوب صنوبر تأثیر بیشتری بر افزایش زمان گیرایی سیمان داشت. استفاده از ساقه آفتابگردان و افزایش مقدار آن نسبت به خرده‌چوب صنوبر، سبب کاهش خواص مکانیکی و افزایش میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تخته‌ها گردید. Ashori و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از تراشه‌های صنوبر و سیمان با نسبت‌های اختلاط ۴۰:۶۰، ۶۰:۴۰ و ۷۰:۳۰ و کلسیم کلرید در دو سطح ۳ و ۷ درصد، فراورده مرکب چوب سیمان ساخته و به مطالعه خواص فیزیکی و مکانیکی آن پرداختند. نتایج حکایت از آن داشت که مقاومت خمشی و مقاومت به ضربه با افزایش میزان چوب تا ۴۰ درصد افزایش یافت؛ اما افزایش بعدی در نسبت چوب، موجب افت مقاومت‌ها گردید. همچنین افزایش میزان چوب اثر منفی بر چسبندگی داخلی داشت. Enayati و همکاران (۲۰۱۲) ویژگی‌های بلوک‌های چوب سیمان ساخته شده از خاک‌اره با نسبت خاک‌اره به سیمان ۲۸:۷۲، ۳۵:۶۵ و ۴۲:۵۸ و ماده افزودنی کلرید کلسیم و کلرید منیزیم در دو سطح ۳ و ۵ درصد را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که تفاوت در نسبت‌های مختلف خاک‌اره به سیمان باعث تفاوت در خواص فیزیکی و مکانیکی بلوک‌ها گردید. به طوری که با افزایش درصد خاک‌اره در ساختار بلوک‌های آزمونی، واکنشیدگی ضخامت به طور مشخص افزایش و در نسبت ۴۲ درصد مقدار این ویژگی به بیش از دو برابر مقدار آن در بلوک‌های حاوی ۲۸ درصد خاک‌اره رسید. با افزایش درصد خاک‌اره، مقاومت فشاری بلوک‌ها در اثر افزایش فشردگی افزایش یافت. Singh و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از الیاف نارگیل، صفحه فشرده سیمان-الیاف ساختند. نتایج

به مقدار ۵٪ وزنی سیمان با آب مخلوط و به خرده‌چوب-ها اضافه گردید. سیمان پرتلند نوع ۲ با نسبت‌های اختلاط خرده‌چوب به سیمان ۲۵٪ به ۷۵٪ و ۳۵٪ به ۶۵٪، با استفاده از همزن دستی با خرده‌چوب مخلوط شد. دانسیته اسمی چندسازه‌ها در دو سطح ۸۰۰ و ۱۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب لحاظ شد. مواد به دست آمده در قالبی به ابعاد ۴۰×۴۰ سانتی‌متر مربع ریخته شد. مواد حاصل با استفاده از گیره‌های فولادی، به مدت ۲۴ ساعت تحت پرس سرد با فشار ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع قرار گرفت و ضخامت نهایی تخته‌ها ۱۵ میلی‌متر تعیین شد. پس از گیرایی اولیه، به منظور تکمیل گیرایی و کاهش سرعت خشک شدن سیمان، تخته‌ها به مدت ۲۸ روز در کلیما با دمای  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  و رطوبت نسبی ۹۰٪ قرار داده شد. پس‌از آن، به منظور متعادل‌سازی رطوبت، تخته‌ها به مدت ۲۸ روز در رطوبت نسبی  $65 \pm 5\%$  و دمای  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  قرار گرفت. به منظور تعیین دانسیته نمونه‌ها، جرم و حجم نمونه‌های خشک شده با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم و کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری و بعد دانسیته مطابق رابطه زیر محاسبه شد.

$$D = M / V \quad \text{رابطه دانسیته}$$

D : دانسیته (کیلوگرم بر متر مکعب)، M : جرم خشک نمونه‌ها (کیلوگرم)، V : حجم خشک نمونه‌ها (متر مکعب)

جدول ۱- مشخصات سیمان مورد استفاده

نوع ترکیب شیمیایی	میزان (%)
اکسید کلسیم (CaO <sub>2</sub> )	۶۰-۶۷
دی‌اکسید سیلیسیم (SiO <sub>2</sub> )	۱۷-۲۵
اکسید منیزیم (MgO)	۰/۱-۴
اکسید آلومینیوم (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	۳-۸
اکسید آهن (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	۰/۵-۶
سولفات (SO <sub>4</sub> )	۱-۳
اکسید سدیم و پتاسیم	۰/۵-۱/۳

داخلی و دانسیته افزایش یافت. همچنین با افزایش نانولولاستونیت، ثبات ابعادی تخته‌ها در مقایسه با نمونه بدون نانو افزایش یافت. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر دانسیته‌ها و نسبت‌های اختلاط مختلف خرده‌چوب صنعتی به سیمان بر خواص مکانیکی شامل خواص خمشی و مقاومت چسبندگی داخلی و خواص فیزیکی شامل جذب آب، واکنشیدگی ضخامت و مقاومت به آتش چندسازه‌های چوب سیمان انجام شد. خرده‌چوب صنعتی مورد استفاده، ترکیبی از چوب‌های جنگلی و باغی بود. خرده‌چوب صنعتی یکی از ضایعات مهم کارخانه‌های صنایع چوب بوده و به دلیل در دسترس بودن و هزینه اندک در مقایسه با سیمان، موجب کاهش هزینه‌های تولید شده و از سوی دیگر استفاده از این خرده‌چوب‌ها از لحاظ حفظ انرژی و مسائل زیست-محیطی حائز اهمیت می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده در این پژوهش شامل خرده‌چوب صنعتی از شرکت صنعت چوب شمال با ضخامت ۰/۱±۰/۸ میلی‌متر بود. خرده‌چوب‌ها مخلوطی از چوب‌های جنگلی شمال کشور (گونه‌های چوبی راش، ممرز و نمدار) و چوب‌های باغی (خرده‌چوب‌های حاصل از هرس درختان میوه) بود. سیمان مورد استفاده در ساخت چندسازه‌ها، سیمان پرتلند نوع ۲ ساخت کارخانه سیمان آبیگ و کلرید کلسیم محصول شرکت مرک آلمان بود.

از آنجایی که قندهای موجود در چوب از گیرایی سیمان ممانعت به عمل می‌آورد، باید قبل از ساخت کامپوزیت غلظتشان کم شود (Ajayi & Badejo, 2005). به این منظور خرده‌چوب‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر با دمای  $20^\circ\text{C}$  شست‌و شو داده شد. سپس خرده-چوب‌ها برای رسیدن به رطوبت ۱۲٪، به مدت ۳ هفته در رطوبت نسبی  $65 \pm 5\%$  و دمای  $20^\circ\text{C}$  قرار داده شدند. شتاب‌دهنده کلسیم کلرید به منظور کاهش اثر بازدارندگی چوب بر گیرایی سیمان و افزایش سرعت هیدراتاسیون،

اعتماد ۹۵٪ انجام شد. میانگین تیمارها با آزمون تعقیبی اختلاف معنی‌دار حقیقی<sup>۲</sup> (HSD) مقایسه شد.

### نتایج

تحلیل واریانس نتایج مربوط به اندازه‌گیری خواص مکانیکی و فیزیکی نمونه‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی تخته‌ها طبق استاندارد EN 310، چسبندگی داخلی طبق استاندارد EN 319، جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت برابر استاندارد EN 317 و مقاومت به آتش طبق استاندارد ISO 11925 اندازه‌گیری شد.

تحلیل آماری نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، با روش آنالیز واریانس دوطرفه و با استفاده از آزمون مدل خطی تعمیم یافته (GLM)<sup>۱</sup> در نرم‌افزار مینی‌تب ۱۷ با سطح

جدول ۲- تحلیل واریانس (عدد P) اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر خواص مکانیکی و فیزیکی

منابع تغییرات	مدول الاستیسیته	مدول چسبندگی	جذب آب ۲ ساعت	جذب آب ۲۴ ساعت	واکنش‌دهی ضخامت ۲ ساعت	واکنش‌دهی ضخامت ۲۴ ساعت	زمان کاهش جرم
دانسیته	۰/۴۵۸	۰/۶۳۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۴۱	۰/۱۶۰	۰/۴۷۳
نسبت اختلاط	۰/۰۲۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲
نسبت اختلاط × دانسیته	۰/۹۰۶	۰/۹۸۳	۰/۹۵۹	۰/۳۸۷	۰/۵۲۵	۰/۶۱۰	۰/۸۸۴

خرده‌چوب به سیمان ۲۵ به ۷۵ و دانسیته ۱۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین دانسیته واقعی در نمونه‌های ساخته شده با نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان ۳۵ به ۶۵ و دانسیته ۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد.

میانگین مقادیر مربوط به اندازه‌گیری دانسیته واقعی چندسازه‌های چوب سیمان در جدول ۳ نشان داده شده است. طبق یافته‌های حاصل از این پژوهش، بیشترین مقدار دانسیته واقعی در نمونه‌های ساخته شده با نسبت اختلاط

جدول ۳- اثر دانسیته اسمی و نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان بر دانسیته واقعی

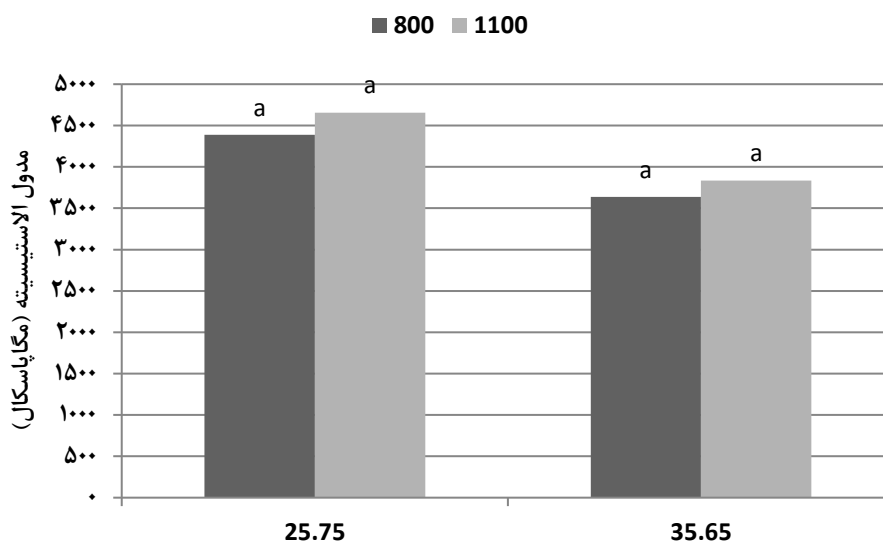
نسبت اختلاط ۲۵ به ۷۵	نسبت اختلاط ۳۵ به ۶۵	دانسیته اسمی (کیلوگرم بر مترمکعب)
۸۱۶	۸۰۳	۸۰۰
۱۱۲۲	۱۰۷۰	۱۱۰۰

1- General Linear Model

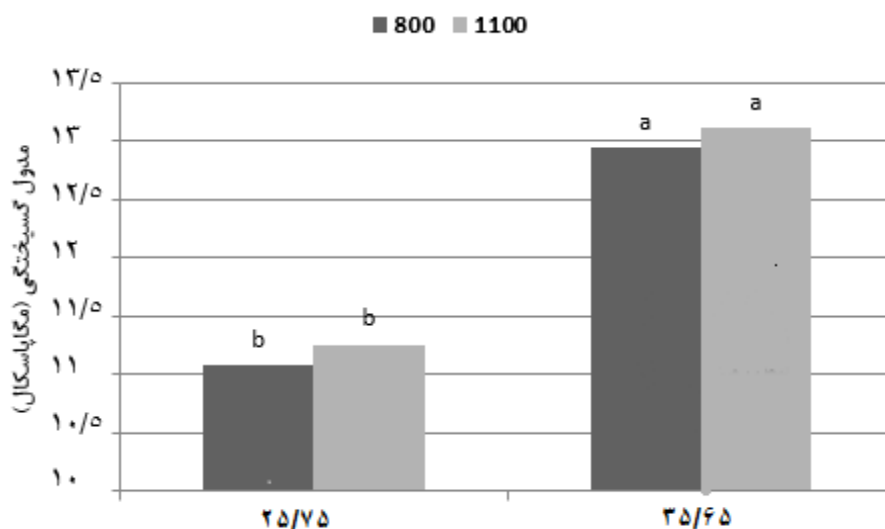
2 - Honestly Significant Difference test

بیشترین و کمترین مدول الاستیسیته به میزان ۴۶۵۶/۸ و ۳۶۳۸ مگاپاسکال به ترتیب در نمونه‌های ساخته شده با نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان ۲۵ به ۷۵ و دانسیته ۱۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و نمونه‌های ساخته شده با نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان ۳۵ به ۶۵ و با دانسیته ۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد (شکل ۱).

نتایج تحلیل واریانس با سطح اعتماد ۹۵٪ نشان داد که با افزایش دانسیته، مدول الاستیسیته نمونه‌ها افزایش یافت. همان‌طور که در جدول ۲ مشخص شده است، اثر مستقل دانسیته بر مدول الاستیسیته نمونه‌ها معنی‌دار نبود. اثر مستقل نسبت اختلاط خرده‌چوب با سیمان بر مدول الاستیسیته اختلاف معنی‌دار نشان داد، به طوری که با افزایش نسبت سیمان، مدول الاستیسیته نمونه‌ها افزایش چشمگیری یافت.



شکل ۱- اثر دانسیته و نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان بر مدول الاستیسیته



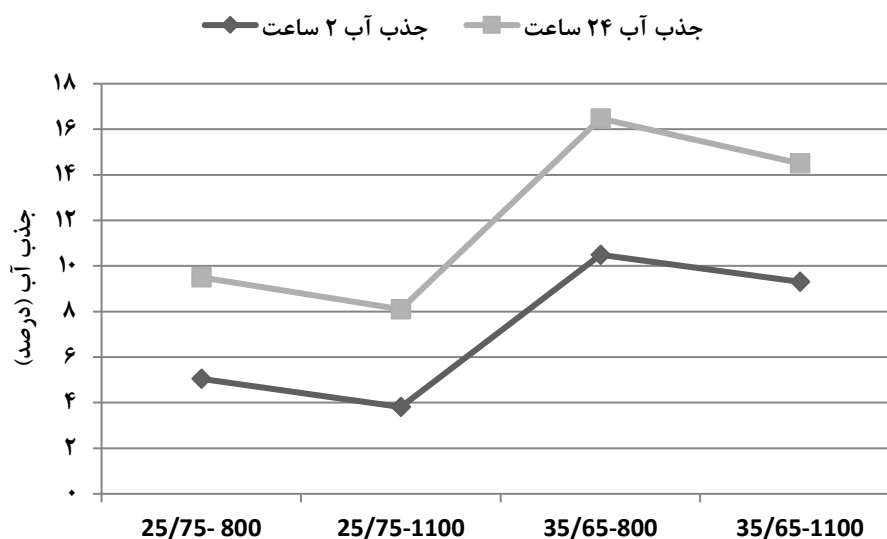
شکل ۲- اثر دانسیته و نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان بر مدول گسیختگی

تحلیل واریانس نتایج حاصل از آزمون چسبندگی داخلی نشان داد که اثر مستقل دانسیته و اثر مستقل نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان با سطح اعتماد ۹۵٪ بر چسبندگی داخلی نمونه‌ها در سطح اعتماد ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲). بیشترین چسبندگی داخلی به میزان ۰/۶۰۸ مگاپاسکال در نمونه‌های ساخته شده با نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان ۲۵ به ۷۵ و دانسیته ۱۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین چسبندگی داخلی به میزان ۰/۵۷۰ مگاپاسکال در نمونه‌های ساخته شده با نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان ۳۵ به ۶۵ و دانسیته ۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد (جدول ۴).

نتایج نشان داد مدول گسیختگی در اثر افزایش دانسیته، افزایش یافت. همان‌طور که در جدول ۲ مشخص شده است، اثر مستقل نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان بر مدول گسیختگی نمونه‌ها در سطح اعتماد ۹۵٪ اختلاف معنی‌دار نشان داد؛ به‌طوری‌که با افزایش نسبت سیمان، مدول گسیختگی نمونه‌ها کاهش چشمگیری یافت. بیشترین و کمترین مدول گسیختگی به میزان ۱۳/۱۱ مگاپاسکال و ۱۱/۰۸ مگاپاسکال به ترتیب در نمونه‌های ساخته شده با نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان ۳۵ به ۶۵ و دانسیته ۱۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و نمونه‌های ساخته شده با نسبت اختلاط ۲۵ به ۷۵ و با دانسیته ۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد (شکل ۲).

جدول ۴- اثر دانسیته و نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان بر چسبندگی داخلی

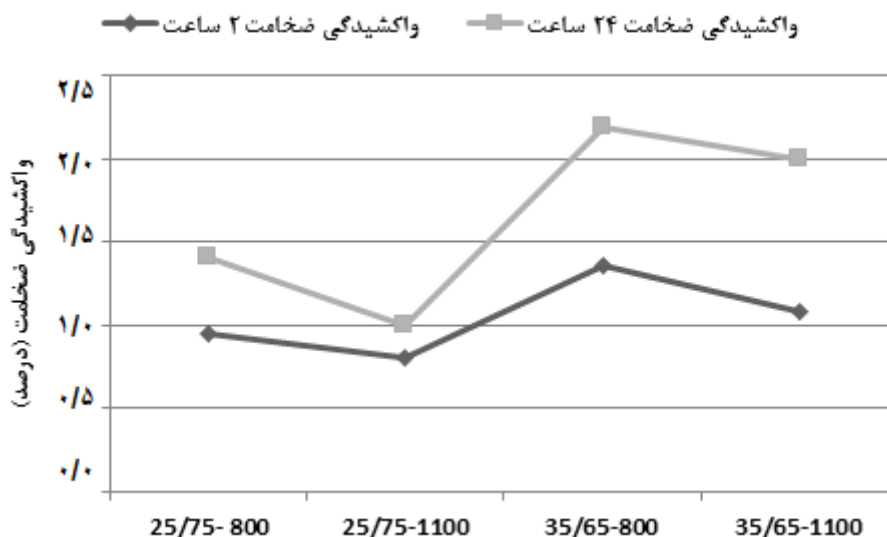
نسبت اختلاط ۲۵ به ۷۵	نسبت اختلاط ۳۵ به ۶۵	دانسیته
۰/۵۹۸	۰/۵۷۰	۸۰۰
۰/۶۰۸	۰/۵۷۸	۱۱۰۰



شکل ۳- اثر دانسیته و نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت

در بررسی آزمون واكشیدگی ضخامت، تحلیل واریانس نتایج نشان داد با سطح اعتماد ۹۵٪ اثر مستقل نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان بر واكشیدگی ضخامت ۲ ساعت نمونه‌ها معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین واكشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت به میزان ۱/۳۵٪ و ۲/۱۹٪ در نمونه‌های ساخته شده با نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان ۳۵ به ۶۵ و دانسیته ۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد. کمترین واكشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت به میزان ۰/۸۰٪ و ۱٪ در نمونه‌های ساخته شده با نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان ۲۵ به ۷۵ و دانسیته ۱۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد (شکل ۴).

تحلیل واریانس نتایج نشان داد با سطح اعتماد ۹۵٪ اثر مستقل دانسیته و اثر مستقل نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت نمونه‌ها معنی‌دار بود (جدول ۲). همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، بیشترین جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت به میزان ۱۰/۴۹٪ و ۱۶/۴۷٪ در نمونه‌های ساخته شده با نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان ۳۵ به ۶۵ و دانسیته ۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد. کمترین جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت به میزان ۳/۸۱٪ و ۸/۱۰٪ در نمونه‌های ساخته شده با نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان ۲۵ به ۷۵ و دانسیته ۱۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد.

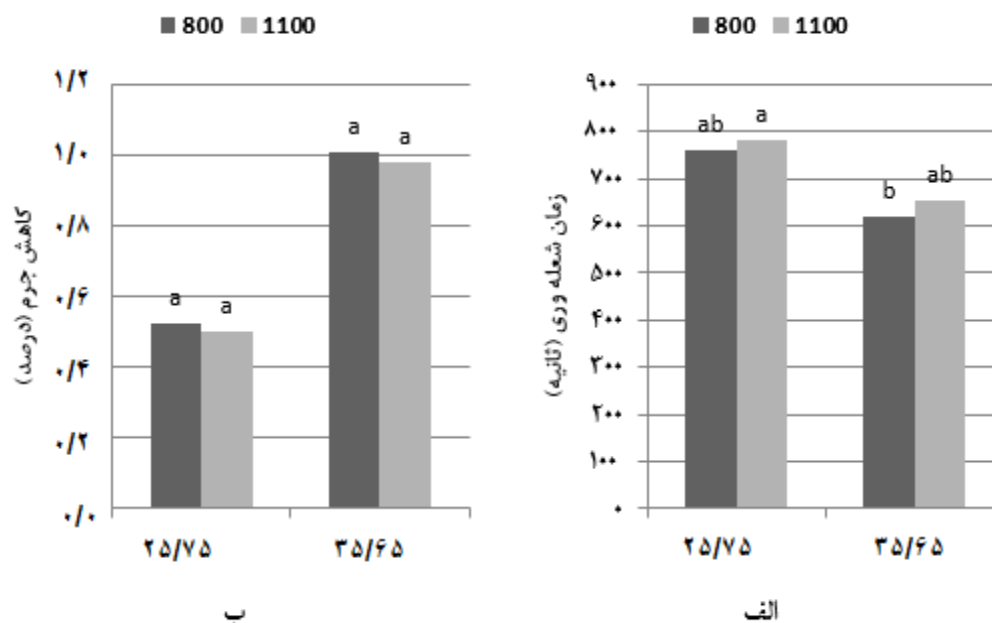


شکل ۴- اثر دانسیته و نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان بر واكشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت

داد. مقاومت به آتش نمونه‌ها در اثر افزایش دانسیته، افزایش یافت. به نحوی که با افزایش نسبت سیمان، زمان شعله‌وری افزایش چشمگیر و کاهش جرم نمونه‌ها کاهش چشمگیری یافت (شکل ۵).

همان‌طور که در جدول ۲ مشخص شده است، اثر مستقل دانسیته نمونه‌ها بر زمان شعله‌وری و کاهش جرم در سطح اعتماد ۹۵٪ اختلاف معنی‌دار نشان نداد و اثر مستقل نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان بر زمان شعله‌وری و کاهش جرم نمونه‌ها در سطح اعتماد ۹۵٪ اختلاف معنی‌دار نشان





شکل ۵- اثر دانسیته و نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان بر الف) زمان شعله‌وری و ب) کاهش جرم

## بحث

عوامل بسیاری از جمله گونه چوبی یا در نگاهی گسترده-تر مواد لیگنوسلولزی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن، اندازه و شکل هندسی ذرات، نوع سیمان، مواد افزودنی (تسریع‌کننده و کندکننده‌های گیرایی سیمان)، نسبت اختلاط آب، دمای محیط و زمان گیرایی بر خواص صفحات فشرده چوب سیمان اثرگذارند. همه این عوامل و برهم‌کنش آنها با یکدیگر، موجب می‌شود که برآورد نظری از خواص صفحات فشرده چوب سیمان، دشوار شود (Jorge et al., 2004).

در این پژوهش با افزایش نسبت سیمان، دانسیته اندازه-گیری شده نمونه‌ها افزایش یافت و در نمونه‌های با دانسیته اسمی بالاتر، دانسیته واقعی بیشتری مشاهده شد. مقاومت مکانیکی چندسازه‌ها رابطه مستقیمی با نوع، استحکام و میزان پیوندهای تشکیل‌شده بین مراحل تشکیل‌دهنده آن دارد. در کیفیت اتصال چندسازه‌های حاصل از ترکیب سیمان و سلولز، پیوندهای هیدروژنی نقش کلیدی را ایفا می‌کنند (Frybort et al., 2008). در چندسازه‌های چوب سیمان، هرچه پیوند بین ذرات چوب و سیمان، بیشتر و

محکم‌تر باشد، فرآورده حاصل از مقاومت‌های مکانیکی بالاتری برخوردار خواهد بود (Semple & Evans, 2004). طبق اظهارات Olorunnisola (۲۰۰۹) فضای بین ذرات آلی و سیمان، عامل مهمی برای کنترل خواص کامپوزیت است.

در این پژوهش با افزایش دانسیته چندسازه‌ها، مدول الاستیسیته افزایش یافت. طبق یافته‌های Fuwape و همکاران (۲۰۰۷) مدول الاستیسیته تخته الیاف-سیمان، در تیمارهای با دانسیته بالاتر افزایش یافت؛ زیرا هرچه الیاف فشرده‌تر باشد، ظرفیت آن برای جلوگیری از شکست سیمان ترد بیشتر شده و به عبارتی موجب تأخیر در شکست می‌شود. طبق نتایج حاصل از این پژوهش، با افزایش نسبت سیمان در چندسازه‌ها، مدول الاستیسیته افزایش یافت. یافته‌های Castro و همکاران (۲۰۱۸) دلالت بر افزایش مدول الاستیسیته با افزایش نسبت سیمان داشت. طبق یافته‌های آنان، بالا بودن مدول الاستیسیته دال بر سفتی ماده بوده و سیمان عامل اصلی در این امر می‌باشد. مدول الاستیسیته پانل چوب سیمان، بستگی به مقدار کلی ماتریس سیمانی

سبب افزایش مقاومت خمشی شده و در صورتی که میزان سیمان به چوب زیاد استفاده شود، میزان تراکم کاهش می یابد (Lee, 1984). استفاده الیاف در تولید چندسازه‌های الیاف- سیمان سبب بهبود خواص مکانیکی به ویژه مقاومت خمشی می‌گردد که دلیل آن را سطح تماس زیاد الیاف و ایجاد شبکه کارآمدتر ذکر کرده‌اند (Nasiri et al., 2011). برابر استاندارد EN 634-2 برای ساخت پانل چوب سیمان، حداقل مدول گسیختگی ۹ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج، مدول گسیختگی همه تخته‌های ساخته شده در آزمایش، از مقادیر ذکر شده در استاندارد بالاتر بود.

چسبندگی داخلی نمونه‌های ساخته شده در این پژوهش، با افزایش نسبت سیمان افزایش یافت. افزایش دانسیته موجب افزایش جرم واحد حجم تخته شده و این پدیده موجب افزایش تماس بین ذره‌ای و اتصال داخلی شده و به دلیل فشردگی بیشتر عناصری که موجب تمرکز تنش می‌شوند، توزیع تنش بهتری انجام خواهد شد (Fuwape & Oyagade, 1993) افزایش دانسیته موجب کاهش حجم حفره‌ها و افزایش فشردگی شده و اتصال داخلی را بالا می‌برد. طبق یافته‌های Ashori و همکاران (۲۰۱۲) در میزان چوب بیشتر، مقدار ماتریس سیمان کاهش یافته و موجب کاهش مقاومت اتصال و کاهش چسبندگی داخلی می‌شود. البته هرچه نسبت چوب در صفحه فشرده بالاتر باشد، تعداد پیوندهای بیشتری بین ذرات چوب تشکیل شده و این پدیده تماس سطح مشترک بین چوب و ماتریس را کاهش داده، بنابراین قابلیت چوب برای پیوند با ماتریس کاهش می‌یابد. طبق نتایج Lee (۱۹۸۴) هنگامی که نسبت سیمان به چوب کم باشد، چوب توسط سیمان پوشش کافی داده نخواهد شد و به اتصال ضعیف منجر می‌شود. برابر استاندارد EN 634-2 برای ساخت پانل چوب سیمان، حداقل چسبندگی داخلی ۰/۵ مگاپاسکال لحاظ شده است که مقادیر چسبندگی داخلی نمونه‌های ساخته شده در این پژوهش با مقادیر قید شده در استاندارد مطابقت داشت.

طبق نتایج این پژوهش، ثبات ابعاد نمونه‌ها در اثر

سفت و تراکم‌ناپذیر دارد (Pablo et al., 1994). سفتی تابعی از نسبت اختلاط چوب به سیمان است، زیرا سیمان ذاتاً نسبت به چوب صلب‌تر است (Moslemi & Pfister, 1987) نقش اصلی ذرات چوب در کامپوزیت‌های سیمانی، افزایش چقرمگی است (Olorunnisola et al., 2009). مواد با سفتی بیشتر، مدول بیشتری دارند و مواد با چقرمگی بیشتر، مدول کمتری دارند. صلبی سیمان بیشتر از چوب بوده و منجر به افزایش مدول الاستیسیته می‌شود (Fuwape & Oyagade, 1993) در اثر افزایش نسبت سیمان، مدول الاستیسیته به دلیل ایجاد پیوندهای قوی‌تری که به سیمان نسبت داده می‌شود، افزایش می‌یابد (Marzuki et al., 2011). طبق استاندارد EN 634-2 حداقل مدول الاستیسیته پانل چوب سیمان، ۳۰۰۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. تخته‌های ساخته شده در این تحقیق حداقل مقادیر مدول الاستیسیته را داشتند.

طبق نتایج حاصل از این پژوهش، با افزایش نسبت خرده‌چوب، مدول گسیختگی نمونه‌ها افزایش یافت. با افزایش درصد چوب در تخته، مدول گسیختگی به دلیل افزایش تراکم و درهم‌رفتنی ذرات و کاهش تردی ناشی از مصرف سیمان افزایش یافت. خواص خمشی قبل از هر چیز، بستگی به تعداد فصل مشترک الیاف و فضای خالی بین آنها دارد (Pablo et al., 1994). به نحوی که با افزایش دانسیته، فشردگی بالاتر رفته و پیوندهای بیشتری تشکیل شده و افزایش مدول گسیختگی را در پی خواهد داشت (Ajayi & Badejo, 2005). میزان بالای سیمان ممکن است سبب تردی تخته شده و مدول گسیختگی را کاهش دهد (Moslemi & Harmel, 1988; Marzuki et al., 2011). همچنان که میزان چوب افزایش می‌یابد، تردی کاهش یافته و به این معنا می‌باشد که ظرفیت تغییر شکل ماده افزایش یافته و این پدیده ناشی از طبیعت فیبری چوب می‌باشد (Al Rim et al., 1999). در میزان اختلاط چوب به سیمان بالا، تراکم کیک نسبت به الیاف افزایش می‌یابد و

بیشتری مشاهده شد که این امر به آتش‌گیر بودن مواد لیگنوسلولزی نسبت داده می‌شود. بنابر اظهارات Yu و همکاران (۲۰۱۶) وجود لایه هیدراته سیمان پرتلند بر سطوح ذرات چوبی، موجب بهبود مقاومت به آتش شده و هنگام قرار گرفتن چندسازه در معرض آتش، اثر ممانعتی سیمان پرتلند، مانع از احتراق ذرات چوب می‌شود. همچنین آنان بیان کردند که نسبت اختلاط سیمان به چوب بیشتر، موجب افزایش زمان شعله‌وری در مقایسه با نسبت اختلاط سیمان به چوب کمتر می‌شود که نتایج آنان با یافته‌های حاصل از این پژوهش مطابقت داشت.

#### نتیجه‌گیری

ساخت صفحات فشرده، یکی از راهکارهای مهم برای استفاده از ضایعات چوبی می‌باشد. استفاده از الیاف چوبی در ساخت چندسازه‌های چوب سیمان، از سویی موجب کاهش دانسیته و کاهش تردی محصول شده و از سوی دیگر با توجه به بالاتر بودن هزینه سیمان در مقایسه با چوب، هزینه مواد اولیه را کاهش خواهد داد. در این پژوهش، تأثیر دانسیته و نسبت اختلاط خرده‌چوب صنعتی به سیمان بر خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه‌های چوب سیمان بررسی شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری دانسیته نمونه‌ها نشان داد با افزایش دانسیته، خواص خمشی و چسبندگی داخلی نمونه‌ها افزایش یافت. در اثر افزایش نسبت سیمان به خرده‌چوب، مدول الاستیسیته نمونه‌ها افزایش و مدول گسیختگی کاهش یافت. افزایش نسبت خرده‌چوب به سیمان، منجر به کاهش مقاومت چسبندگی داخلی شد. با افزایش دانسیته، ثبات ابعاد نمونه‌ها افزایش یافته و کاهش نسبت اختلاط خرده‌چوب به سیمان، موجب کاهش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت شد. با افزایش دانسیته و افزایش نسبت سیمان، مقاومت به آتش نمونه‌ها بهبود یافت. به طوری که چندسازه‌های چوب سیمان ساخته شده در این پژوهش، ملزومات قید شده در استاندارد اروپایی را دارا بوده و می‌تواند در کاربردهای متداول چوب سیمان همانند

افزایش نسبت سیمان افزایش یافت. مواد لیگنوسلولزی عموماً منجر به افزایش نپذیری نمونه‌ها می‌شود. این پدیده به دلیل پیوندهای هیدروژنی مولکول‌های آب با گروه‌های هیدروکسیل آزاد دیواره سلولی و توزیع مولکول‌های آب در سطح مشترک ذرات چوب سیمان است؛ علاوه بر آن وجود ساختارهای لوله‌ای متخلخل زیاد در چوب، نفوذ آب را به علت اثر موینگی تسریع می‌کند (Ashori et al., 2012). تحقیقات Ogunjobi و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که سیمان بیشتر موجب پوشش حفره‌های خالی موجود در چوب شده و سبب جذب آب کمتر می‌گردد. Savastano و همکاران (۲۰۰۰) بیان کردند همچنان که میزان فیبر افزایش می‌یابد، کاهش چشمگیر در دانسیته و افزایش جذب آب مشاهده می‌شود. بنابر اظهارات Fuwape و Oyagade (۱۹۹۳) با کاهش سطح پوشش سیمان بر ذرات چوب، پیوندهای بین ذرات کاهش یافته و فضا برای جذب آب بیشتر مهیا شده و احتمال ایجاد برگشت ضخامت افزایش یافت. با افزایش میزان سیمان، واکنشیدگی ضخامت تخته‌ها بهبود یافت و این پدیده به این علت نسبت داده می‌شود که ماتریس سیمان پیوند خوبی با ذرات چوب برقرار کرده و الیاف را احاطه می‌کند (Marzuki et al., 2011). گریابی سیمان اطراف ذرات چوب، انبساط ابعادی چوب را محدود کرده و موجب کاهش اتساع فرآورده می‌گردد (Fuwape & Oyagade, 1993). برابر استاندارد EN 634-2 حداکثر واکنشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت پانل چوب سیمان، ۱/۵٪ قید شده است. حداکثر واکنشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شده در این تحقیق به میزان ۲/۱۹٪ بود، بنابراین با مقادیر استاندارد مطابقت نداشت. نتایج بررسی مقاومت به آتش حکایت از آن داشت که در چندسازه‌های با دانسیته بالاتر، زمان شعله‌وری افزایش و درصد کاهش جرم کاهش یافت که این پدیده احتمالاً به تخلخل کمتر و دسترسی کمتر ذرات به اکسیژن نسبت داده می‌شود. علاوه بر آن در چندسازه‌های ساخته شده با نسبت بیشتر الیاف، زمان شعله‌وری کمتر و درصد کاهش جرم

- wood-fiber cement composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 34 (2): 302-311.
- Hassanpoor Tichi, A., Bazayr, B., Khademieslam, H., Rangavar, H., and Talaeipour, M. 2015. Effect of nano-wollastonite on microscopic, mechanical and physical properties of cement-wood fibers composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 30 (4):567-577.
- Jorge, F.C., Pereira, C., and Ferreira, J. M. F. 2004. Wood-cement composites: a review. *Holz Roh Werkst*. 62:370-377.
- Lee, AWC. 1984. Effect of cement/wood ratio on bending properties of cement-bonded southern pine excelsior board. *Wood and fiber science*. 17: 361-364.
- Marzuki, A.R, Rahim, S., Hamidah, M., and Ahmad Ruslan R. 2011. Effects of wood:cement ratio on mechanical and physical properties of three-layered cement-bonded particleboards from *Leucaena leucocephala*. *Journal of Tropical Forest Science*. 23 (1): 67-72.
- Menezzi, C.H.S.D., Castro, V.G.D., and Mario Rabelo de Souza, M.R.D. 2007. Production and properties of a medium density wood-cement boards produced with oriented strands and silica fume. *Maderas. Ciencia y tecnología*. 9(2): 105-115.
- Moslemi, A.A, and Pfister, S.C. 1987. The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels. *Wood and Fiber Science*. 19 (2): 165-175.
- Moslemi, A.A, and Harmel, M.P. 1988. Fiber and particleboard bonded with inorganic binders. *Forest products research society, Madison*.
- Nasiri, H., Varshoe, A., and Kargarfard, A. 2011. Investigation on the properties of cement-bagasse fiber composite as a structural material. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 26 (2): 291-299.
- Ogunjobi, K.M., Ajibade, M.A, Gakenou, O.F., and Gbande, S. 2019. Physical and mechanical properties of cement-bonded particle board produced from *Anogeissus leiocarpus* (DC.) Guill and Perr wood species. *African Journal of Agriculture Technology and Environment*. 8(1): 192-199.
- Olorunnisola, A.O. 2009. Effect of husk particle size and calcium chloride on strength and sorption properties of coconut husk-cement composites. *Industrial Crops and Products*. 29 (2-3): 495-501.
- Pablo, A., Geimer, R. L., and Wood, J. E. 1994. Accelerated pressing of low-density cement-bonded board, 4th International Inorganic-bonded Wood and Fiber Composite Materials, Spokane, WA, USA.

کفپوش، پوشش سقف و بام و دیوارهای حائل مورد استفاده قرار گیرد.

### منابع مورد استفاده

- Ajayi, B., and Badejo S.O.O. 2005. Effects of board density on bending strength and internal board of cement-bonded flake-boards. *Journal of Tropical Forest Science*. 17 (2): 228-234.
- Al Rim, K., Ledhem, A., Douzane, O., Dheilily, R. M., and Queneudec, M. 1999. Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay-cement-wood composites. *Cement and Concrete Composites*. 21: 269-276.
- Ashori, A., Tabarsa, T., Sepahvand, S. 2012. Cement-bonded composite boards made from poplar strands. *Construction & Building Materials*. 26: 131-134.
- Badejo, S.O.O. 1988. Effect of flake geometry on properties of cement-bonded particleboard from mixed tropical hardwoods. *Wood Science and Technology*. 22:357-370.
- Castro, V., Parchen, C., and Iwakiri, S. 2018. Particle sizes and wood/cement ratio effect on the production of vibro-compacted composites. *Floresta e Ambiente*. 25 (4): e20150213.
- Enayati, A.A., Nazerani Hooshmand, H., Doosthoseini, K., Jahan Latibari, A. and Rahimi, S. 2012. Evaluation of the properties of wood sawdust-cement perforated blocks. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 27 (2): 294-305.
- European Committee for Standardization – CEN. EN 634-2: Cement-bonded particleboards: specifications: part 2: requirements for OPC bonded particleboards for use in dry, humid and external conditions. Brussels: CEN; 2007.
- Frybort, S., Mauritz, R., Teischinger, A., and Mulle, U. 2008. Cement bonded composites – a mechanical review. *Bioresources*. 3 (2): 602-626.
- Fuwape, J.A., and Oyagade, A.O. 1993. Bending strength and dimensional stability of tropical wood-cement particleboards. *Bioresource technology*. 44: 77-79.
- Fuwape, J.A., Fabiyi, J.S., and Osuntuyi, E.O. 2007. Technical assessment of three layered cement-bonded boards produced from wastepaper and sawdust. *Waste management*. 27: 1611-1616.
- Golbabaee, F., Hosseinkhani, H., Hajihassani, R. and Rashnv, A. 2013. Investigation on properties of wood-cement panels based on Agricultural residues. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 28 (3): 583-596.
- Golbabaee, F., Salehi, K., and Hajihassani, R. 2019. Use of bagasse in the manufacture of reinforced

- Portland, *Scientia forestalis*. 68: 59-67.
- Simatupang, M.H., Schwarz, G.H., and Broker, F.W. 1978. Small scale plants for the manufacture of mineral- bonded wood composites. Special paper. 8th world forestry congress, FID-II/ 21-3, Jakarta, Indonesia.
- Singh, A., Singh, J., and Ajay, s. 2018. Properties of fiber cement boards for building partitions. *International Journal of Applied Engineering Research*. 13 (10): 8486-8489.
- Wolfe, R.W., and Gjinolli, A. 1999. Durability and strength of cement- bonded wood particle composites made from construction waste. *Forest Products Journal*. 49 (2): 24-31.
- Yu, Y., Hou, J., Dong, Z., Wang, C., Lu, F., and Song, P. 2016. Evaluating the flammability performance of Portland cement-bonded particleboards with different cement-wood ratios using a cone calorimeter. *Journal of Fire Sciences*. 34 (3): 199–211.
- Zhou, Y., and Kamdem, P. 2002. Effect of cement/wood ratio on the properties of cement-bonded particleboard using CCA-treated wood removed from service. *Forest Products Journal*. 52 (3):77-81.
- Ramirez-Coretti, A., Eckelman, C.A, and Wolfe, R.W. 1998. Inorganicbonded composite wood panel systems for low-cost housing: a Central American perspective. *Forest Product Journal*. 48 (4):62–68.
- Rangavar, H., Kargarfard, A., and Hoseiny Fard, M.S. 2016. Investigation on Effect of cement Types on the cement hydration and properties of wood-cement composites manufactured using sunflower stalk (*Helianthus Annuus*). *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 31 (2): 336-348.
- Sandermann, W. 1970. Technical processes for the production of wood-wool cement boards and their adaptation to the utilisation of agricultural residues. UNIDO ID/WG.83/4.
- Savastano, H., Warden, P.G., and Coutts, R.S.P. 2000. Brazilian waste fibers as reinforcement for cement composites. *Cement and concreet composites*. 22 (5): 379-384.
- Semple, K. E., and Evans, P.D. 2004. Wood-cement composites-suitability of western Australian mallee eucalypt, blue gum and melaleucase. *Rural industries research and development corporation, Australia*, 71 p.
- Silva, G.C., Latorraca, J. V. F. Teixeira, D. E. and Junior, G. B. 2005. Wood and bark composite production of *Euca-lyptus urophylla* and cement

## Effect of Board density and industrial wood particles to cement ratio on mechanical and physical properties of wood cement composite boards

M. Ghofrani 1\* and A. Fazeli 2

1\*- Corresponding author, Professor, Department of Wood and Paper Sciences and Technology, Faculty of Materials Engineering and New Technologies, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran, Email: ghofrani@sru.ac.ir

2-Ph.D. Student, Department of Wood Technology and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: Aug, 2020

Accepted: Jan., 2021

### Abstract

This study was carried out to investigate the effect of two board density levels of 800 kg/m<sup>3</sup> and 1100 kg/m<sup>3</sup> and two levels of industrial wood to cement ratios of 25:75 and 35:65 on mechanical and physical properties of wood cement composites. Boards were produced and then the density of boards were calculated. The experimental boards were subjected to modulus of elasticity and modulus of rupture tests in accordance with EN 310. Internal bonding was evaluated according to EN 319. Water absorption and thickness swelling were evaluated after 2 and 24 hours immersion in water according to EN 317. Fire resistance was evaluated according to ISO 11925. Results indicated that bending properties of the boards, including modulus of elasticity and modulus of rupture, and internal bonding increased at higher density. That was attributed to the high compression and improved binding between fiber and cement matrix. Modulus of elasticity increased significantly as cement content was raised. Modulus of rupture values were inversely related to cement content. Increasing wood to cement ratio led to low internal bonding because the low amount of cement can be insufficient to cover the wood particles for effective bonding to resist the tensile forces applied during internal bonding test. As the board density increased, dimensional stability increased. Variations in the wood to cement ratio have been reported to significantly affect the dimensional stability of specimens. Water absorption and thickness swelling increased with the increase in wood to cement ratio. Fire resistance of specimens improved when the board density and cement content increased. All of the mechanical properties of boards produced in this study satisfied the EN 634-2 requirements.

**Keywords:** Wood cement composites, bending properties, internal bonding, dimensional stability.